

Die Lungenszintigraphie

Peter Zech

1990

Aus der Isotopenabteilung an der medizinischen
Abteilung des Städt.Krankenhauses Landshut
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. G. Landes

DIE LUNGENSZINTIGRAPHIE

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Peter Zech

aus

Landshut

Jahr

1970



Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Professor Dr. G. Landes

Mitberichterstatter: Professor Dr. G. Fruhmann

Dekan: Professor Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 6.10.1970

ÜBERSICHT

A. Die Lungenszintigraphie	1
I. Die Methode	1
II. Das injizierte radioaktive Material	1
1. Anforderungen an das Material	1
2. Früher verwendete Partikel	2
3. ^{131}J -MAA	3
III. ^{131}J -MAA im Organismus	4
1. Seine Verteilung unmittelbar nach der Injektion	4
2. Die Clearance von ^{131}J -MAA	4
a) Die Clearance der Lunge	4
b) Zur Clearance der anderen Organe	5
c) Die Gesamtkörperclearance	6
d) Die Clearance der pathologischen Lunge	7
IV. Die Belastung des Organismus durch ^{131}J -MAA	7
1. Die Strahlenbelastung	7
2. Allergische Reaktionen	7
3. Die mechanische Belastung des Herzens	7
4. Parenchymschädigung durch die künstlichen Emboli	8
5. Tierexperimentelle Ergebnisse	8

V.	Die Szintigrammgewinnung	9
1.	Vorbemerkung	9
2.	Die technischen Methoden	9
a)	Der Scanner	9
aa)	Schwarz-Weiß- und Photoscan	9
bb)	Der Farbscan	9
cc)	Schwarz-Weiß- und Farbscan im Vergleich	9
dd)	Variationen dieser Methoden	10
b)	Die Anger-Kamera	10
3.	Die Anfertigung des Szintigramms	11
a)	Die Höhe der Dosis	11
b)	Die Injektion	11
c)	Das Scannen	12
4.	Die Lage des Patienten	12
a)	Der Einfluß der Lage auf die Durchblutung	12
b)	Die Bedeutung der Lage hinsichtlich diagnostischer Problemstellungen	13
VI.	Das normale Lungenszintigramm	14
1.	Beschreibung	14
2.	Beurteilung	15
VII.	Das pathologisch veränderte Lungenszintigramm	15
1.	Füllungsdefekt und Krankheitsbilder	15
2.	Der differentialdiagnostische Beitrag	
a)	auf Grund der Ausfallsbeschaffenheit	17
b)	durch wiederholtes Scannen	18
c)	durch positiven Tumornachweis	18
d)	durch Zusatzmethoden	18

VIII. Die Entstehung des Füllungsdefekts	19
1. Die Ursachen	19
2. Der Füllungsdefekt beim Bronchialcarcinom	19
a) Pathologisch-anatomische Vorbemerkung	19
b) Das Füllungsdefizit auf Grund der direkten mechanischen Einwirkung	19
c) Das Füllungsdefizit auf Grund der Belüftungseinschränkung	20
d) Weitere Ursachen des Füllungsdefekts	21
e) Füllungsdefekt und Frühdiagnose	21
IX. Ein Methodenvergleich	22
1. Lungenszintigramm und Röntgenthoraxaufnahme	22
2. Lungenszintigramm und Angiographie	23
3. Lungenszintigramm und Enzymteste	23
4. Injektions- und Inhalationsszintigramm	23
5. Radioisotopenscan und Differentialspirometrie	24
6. Lungenszintigramm und pathologisch-anatomischer Befund	24
X. Indikationen zur Szintigrammgewinnung	24
B. Zum Aussagewert des Lungenszintigramms	26
Vorbemerkung	26
I. Lungenszintigramm und Röntgenbefunde	27
1. Lungenszintigramme ohne Ausfallsbezirke und Röntgenbefund	27
a) Befunde	27
b) Diskussion	28

2. Lungenszintigramme mit Ausfällen und Röntgenbefund	29
a) Ausfall der Partikelfixation in einer Lungenhälfte	29
b) Szintigrammausfälle von Lappengröße	29
c) Szintigraphische Segmentausfälle	30
d) Ergebnis	30
II. Lungenszintigraphie und Bronchialcarcinom	31
1. Ergebnisse verschiedener Untersuchungsmethoden bei gesichertem Bronchialcarcinom	31
a) Nachweis eines pathologischen Befunds	32
b) Der unberechtigte Tumorausschluß	33
c) Der Beitrag des Szintigramms zur Diagnose	34
2. Zur Ursache des szintigraphischen Ausfalls beim Bronchialcarcinom	35
a) Path.-anatomischer Befund und Szintigrammausfall	35
b) Szintigrammausfall und Lungenbelüftung	35
c) Diskussion	36
3. Szintigramm und Frühdiagnose des Bronchialcarcinoms	37
4. Lungenszintigramm und peripheres Bronchialcarcinom	37
C. Zusammenfassung	38
D. Schrifttum	40

A. DIE LUNGENSZINTIGRAPHIE

I. Die Methode

Die Lungenszintigraphie ist eine Methode zur gefahrlosen Darstellung der Lungendurchblutung.

Das Prinzip wurde 1947 von Muller und Rossier (51) angegeben: radioaktiv markierte Partikel werden intravenös injiziert, gelangen auf dem Blutweg in das rechte Herz und in die Lunge und werden dort infolge ihrer Größe im Präkapillargebiet festgehalten.

Der Nachweis der "strahlenden Emboli" über einem Lungenbezirk spricht für dessen Durchblutung und umgekehrt: fehlende oder eingeschränkte Durchblutung des Lungparenchyms äußert sich in einem Füllungsdefizit.

II. Das injizierte radioaktive Material

1. Anforderungen an das Material

Als strahlender Embolus kann nur solches Material verwendet werden, das ein technisch gutes Szintigramm ergibt, den Organismus aber so wenig wie möglich belastet.

So darf sich die Markierung - ein γ -Strahler möglichst ohne weitere Komponenten - nicht zu früh von

seinem Träger lösen, ihre biologische Halbwertszeit muß, ebenso die des Trägers, kurz sein; letzterer darf keine Antigenwirkung haben, muß sterilisierbar sein und im Lungenstrombett zurückgehalten werden.

2. Früher verwendete Partikel

Muller (51) benützte zu seinen Grundversuchen ein Pektinsol mit 63Zn als Strahler.

Mehrere Autoren verwandten 203Hg -markierte Keramikpartikel (3,33,32): diese Partikel hatten einen Durchmesser von $50 \pm 10 \mu$, wurden zu 96-100% in der Lunge zurückgehalten und waren chemisch und physiologisch inert: sie zeigten noch nach 26 Tagen dasselbe szintigraphische Bild wie eine Stunde nach der Injektion (32).

Bei der Verwendung von Stärkekörnern als Träger (2,29) erwies sich Kartoffelstärke auf Grund seines Durchmessers als am besten geeignet. Die Szintigrammqualität war jedoch unzureichend: denn das als Strahler verwandte Jod löste sich innerhalb einer Stunde vom Träger.

198Au -Kohlepartikel wurden erfolgreich an Tier und Mensch angewandt (19,28,29). Die Partikel waren auf einen Durchmesser von $30-50 \mu$ normiert, das Gold war vollständig an das Trägermaterial gebunden (29). Tetrachlorgoldsäure erwies sich als Ausgangsmaterial der Verwendung von Goldkolloiden überlegen (69).

3. 131J-MAA

Zur Herstellung von Lungenszintigrammen verwendet man heute denaturiertes, makro-aggregiertes menschliches Serumalbumin (MAA). Als Markierung dient ^{131}J oder ^{51}Cr . Die Strahlenbelastung des Patienten ist bei Verwendung von Cr-markiertem Material etwas geringer (81).

Die MAA-Partikel sind in ihrem chemischen Verhalten nicht einheitlich. Bei der Papierelektrophorese mit anschließender Radiographie bleibt der weitaus größere Teil der markierten Substanz am Ausgangspunkt zurück, ein kleiner Teil steigt jedoch mit der Fraktion der Serumproteine und -albumine an (25).

Das MAA besteht aus Partikeln von 1-100 μ Durchmesser; der durchschnittliche Teilchendurchmesser beträgt 50 μ ((84), dort auch Beschreibung der Herstellung). Die Teilchengröße steht, werden die anderen Parameter wie Konzentration, pH-Wert und Schüttelfrequenz konstant gehalten, in direkter Beziehung zur Erhitzungsdauer. Eine Nachbehandlung der nach dem üblichen Verfahren gewonnenen Partikel mit Natriumchlorid-Lösung führt zu Partikeln einheitlicherer Größe und eines Durchmessers von 10-15 μ (84).

Für die Teilchengröße ist neben der Temperatur vor allem das pH der Lösung und die Schüttelintensität verantwortlich (36). Die Lagerungstemperatur scheint hierbei wichtiger zu sein als der pH-Wert: bei 5°C haben die Teilchen noch nach 10 Tagen annähernd ihre Ausgangsgröße (59).

III. ^{131}J - MAA im Organismus

1. Seine Verteilung unmittelbar nach der Injektion

Die Partikel, genauer 87% der Dosis (25), befinden sich nach der Injektion in der Lunge. Radiogramm (5) und Anger-Kamera (66) zeigen die Passage des injizierten Materials durch das rechte und das Fehlen einer Aktivität über dem linken Herzen. Die Aktivität über dem Thorax steigt in der ersten halben Stunde noch geringfügig an (5).

Die im Lungenparenchym zurückgehaltenen Partikel dürften sich, entsprechend den Befunden nach der Injektion von 30-50 μ großen Holzkohlepartikeln (19), in den Arteriolen und Kapillaren des Lungenstrombetts befinden.

13% der Dosis passiert den kleinen Kreislauf. Dafür kommen mehrere Gründe in Frage: nicht alle Strahler sind an das MAA gebunden (5-10% der Serumaktivität ist nicht mit TCA fällbar (25)), nicht alle Partikel sind genügend aggregiert, und das Lungenstrombett besitzt Nebenschlüsse (31): die AV-Anastomosen und die Riesenkapillaren der Pleura.

2. Die Clearance von ^{131}J -MAA

a) Die Clearance der Lunge

Die biologische Halbwertszeit des Strahlers in der Lunge zeigt 3 verschiedene Komponenten (12,25): Halbwertszeiten von 6 Stunden, 3 Tagen

und eine dritte, von wesentlich längerer Dauer (von 55 Tagen nach DeLand).

Nach der ersten Komponente verhalten sich 88% der Lungenaktivität (25). Sie spiegelt vor allem die Dejodation der MAA-Aggregate in der Lunge wider. Entsprechend taucht jetzt freies Jodid (nicht mehr Jod) im Plasma auf. Sein Anteil an der Plasmaaktivität - 5 Minuten nach der Injektion 6,8% - hat nach 6-7 Stunden seinen Maximalwert von ungefähr 37% erreicht. Anschließend verschwindet das Jodid schnell mit einer Halbwertszeit von 0,45 Tagen: die Dejodationsgeschwindigkeit wird hier wahrscheinlich bereits von der Ausscheidungsgeschwindigkeit übertroffen (12).

Die zweite und dritte Halbwertszeitkomponente der Lunge zeigt den gleichen Aktivitätsabfall wie die entsprechenden Kurven von Leber, Niere, Milz und Oberschenkel. So ist es durchaus möglich, daß sich 12 Stunden nach der Injektion in der Lunge keine oder nur noch wenig Aggregate befinden, und daß zu diesem Zeitpunkt im ganzen Körper und in jedem Organ die gleichen Faktoren zum Abbau des injizierten Materials beitragen (12).

b) Zur Clearance der anderen Organe

Die erste Abfallskomponente ist nicht für alle Organe einheitlich. Der relative Aktivitätsanstieg über dem Oberschenkel und der Niere während der

ersten 10 Stunden ist wesentlich größer als der des Plasmas allein. Extravaskuläre Anhäufung scheint hierfür die zwangloseste Erklärung zu sein (12).

Leber und Milz zeigen einen Aktivitätsabfall ähnlich dem des Gesamtplasmas.

Die proteingebundene Plasmaaktivität zeigt - im Gegensatz zur nicht-proteingebundenen (s. oben) - einen kontinuierlichen Abfall (36) und bietet, ähnlich wie die Gesamtaktivität, 3 verschiedene Halbwertszeitkomponenten (12).

Die Radioaktivität über der Schilddrüse beträgt während der ersten 7 Tage, korrigiert nach der physikalischen Halbwertszeit, zwischen 3,2 und 4,3% der injizierten Dosis ((12); die Patienten waren nicht mit jodhaltigen Medikamenten vorbehandelt worden).

c) Die Gesamtkörperclearance

Die Aktivitätsausscheidung im Urin läßt auf eine biologische Halbwertszeit von 21-22 Stunden schließen (12). In den ersten 48 Stunden werden 50-70%, in den ersten 72 Stunden 60-80% der Aktivität ausgeschieden (25). Die rapide Ausscheidung zu Beginn der ersten 48 Stunden entspricht dem gleichzeitigen rapiden Aktivitätsabfall über der Lunge. Eine nachweisbare fekale Ausscheidung gibt es nicht (25).

Die biologische Halbwertszeit ist bei Personen ohne vorausgehende Jodidgabe auf 1,7 Tage verlängert (12).

d) Die Clearance der pathologischen Lunge

Lungen mit verschiedenen pathologischen Veränderungen zeigen für die für den Abbau wichtigste erste Komponente keinen Clearance-Unterschied (60). Eventuelle Clearance-Unterschiede werden erst nach 24 Stunden sichtbar (35).

IV. Die Belastung des Organismus
durch ^{131}J -MAA

1. Die Strahlenbelastung

Durch die Injektion von $300\mu\text{C}$ einer ^{131}J -MAA-Suspension erhält die Lunge eine Dosis von 1,9rad, die Dosis des Bluts und des Gesamtkörpers ist minimal (0,049rad bzw. 0,008rad (25)). Hierzu zum Vergleich die Belastung bei einer Röntgen-Thoraxaufnahme: 0,11R ((88), S.67; für γ - und Röntgenstrahlen gilt genähert $1\text{R}=1\text{rad}$).

2. Allergische Reaktionen

Wiederholte MAA-Gaben über einen längeren Zeitraum (bis zu 3 Monaten) zeigten weder eine Antigenwirkung (79) noch eine Änderung der MAA-Clearance (36). Allergische Reaktionen auf Grund einer MAA-Injektion scheint es somit im Organismus nicht zu geben.

3. Die mechanische Belastung des Herzens

Die beim Menschen injizierte Menge ist kleiner als 0,1mg/kg Körpergewicht, der Druck im rechten Herzen

steigt jedoch erst bei einer Menge von 50-150mg/kg (Taplin, in(5)). Eine zusätzliche Herzbelastung entsteht somit durch die MAA-Gaben nicht.

4. Parenchymschädigung durch die künstlichen Emboli

Der Nachweis einer Parenchymschädigung auf Grund der künstlichen Emboli konnte weder durch mikroskopische Untersuchungen (12,43) noch durch Messung der Serum-LDH, SGOT oder des Bilirubinwerts erbracht werden (12). Größere Lungenparenchym-läsionen sind auch nicht zu erwarten: das injizierte Material verschließt nur eine von 10 000 Kapillareinheiten des Lungenstrombetts (Taplin, in (14)).

Gelangen MAA-Partikel in die Gehirnarterien, so ist auch hier keine Gefahr zu erwarten (Rosenthall, in (76)).

5. Tierexperimentelle Ergebnisse

Tierexperimentelle Ergebnisse sprechen zusätzlich für die gute Verträglichkeit des 131J-MAA: Kaninchen zeigten nach der Injektion der dreifachen menschlichen Dosis keinerlei Beeinträchtigung (5), Ratten und Hunde erhielten, wiederum völlig ohne Anzeichen einer Schädigung, mehr als die 400-fache menschliche Dosis (80).

V. Die Szintigrammgewinnung

1. Vorbemerkung

Ein Überblick über den technisch-physikalischen Stand der Szintigraphie liegt bereits vor (10,44). Im folgenden werden deshalb bevorzugt die klinischen Aspekte der Szintigrammgewinnung berücksichtigt.

2. Die technischen Methoden

Es gibt zwei im Prinzip verschiedene Methoden der Szintigrammgewinnung: den Scanner und die Methode nach Anger (γ -Kamera).

a) Der Scanner

aa) Schwarz-Weiß- und Photoscan

Beim Schwarz-Weißscan ist die Dichte der gedruckten Punkte Ausdruck für die Impulszahl, beim Photoscan wird die Impulshäufigkeit durch die Intensität der Filmschwärzung wiedergegeben. Schwarz-Weiß- und Photoscan werden meist gleichzeitig angefertigt.

bb) Der Farbscan

Er ist eine Weiterentwicklung des Schwarz-Weißscans: mit der Anzahl der radioaktiven Impulse ändert sich hier aber nicht nur die Zahl der gedruckten Punkte, sondern auch deren Farbe.

cc) Schwarz-Weiß- und Farbscan im Vergleich

Die Überlegenheit des Farbscans gegenüber dem Schwarz-Weißscan wird allgemein hervorgehoben

(u.a. in (11) und (44)): der Farbscan erlaubt semi-quantitative Aussagen hinsichtlich der Radioaktivitätsverteilung und bietet, ohne Verlust an Information, einen erheblichen Kontrastgewinn. Auf diese Weise werden Aktivitätsunterschiede erkennbar, die mit der konventionellen Methode übersehen würden. Versuche am Phantom ergaben, daß mit Hilfe des Farbscans die Positionseinschätzung einer Läsion leichter gelingt als auf konventionelle Weise (44).

dd) Variationen dieser Methoden

Es wurde ein Gerät entwickelt, das erlaubt, nachträglich die Intensitätsunterschiede des Photoscans in Farbe zu übersetzen. Die mit Hilfe dieses Rescanners erhaltenen Bilder sind leichter interpretierbar als das ursprüngliche Szintigramm und lassen vorher nicht entdeckte Läsionen erkennen (77).

Des weiteren wurden Versuche unternommen (23,64), die Punkte des Schwarz-Weißscans verschmelzen zu lassen, um somit zu einem einheitlicheren Bildeindruck ("blended scan") zu gelangen. Das derart gewonnene Szintigramm bietet jedoch weniger Information als das konventionelle Bild mit "Rastereffekt".

b) Die Anger-Kamera

Bei der γ -Kamera nach Anger ist der Zeitaufwand für die Abbildung nicht mehr vom mechanischen Bewegungsablauf, sondern nur noch von der Zahl der registrierten Photonen abhängig. Mit genügend starken radio-

aktiven Präparaten hat man somit sehr viel kürzere Aufnahmezeiten als mit dem Scanner. Als Injektionsmaterial hat sich Tc99m-Albumin bewährt (65,66).

In der Kürze der Aufnahmezeit liegt der Vorteil dieser Kamera: sie gestattet eine rasche Bildfolge, somit Serienaufnahmen, und ohne Zusatzgeräte Aufnahmen in mehreren Ebenen.

Die Qualität der so erhaltenen Aufnahmen ist ohne Einschränkung der des konventionellen Szintigramms gleichzusetzen (8, 48). Bei schwierigen anatomischen Verhältnissen ist jedoch die Beziehung von Anatomie und Bild leichter mit dem Scanner als dem Kamerabild herzustellen (65). Außerdem ist die Lunge trotz der effektiven Kristallgröße von 9" nur getrennt, als rechte oder linke Lunge, oder in getrennten Quadranten zu untersuchen.

3. Die Anfertigung des Szintigramms

a) Die Höhe der Dosis

Es werden ^{131}I -Dosen zwischen 100 und $300\mu\text{C}$ angewandt.

b) Die Injektion

Sie wird, abgesehen von besonderen Indikationsstellungen, am liegenden Patienten und in Inspirationsstellung ausgeführt (s. unten).

Die MAA-Suspension wird der Verteilung wegen geschüttelt und langsam, um eine plötzliche Gefäß-

obliteration zu vermeiden, in die Cubitalvenen injiziert.

Vor der Injektion wird, bei der Anwendung von ^{131}I als Strahler, die Schilddrüse mit Lugol'scher Lösung oder Thybon blockiert.

c) Das Scannen

Das Scannen kann unmittelbar nach der Injektion begonnen werden und nimmt etwa $1/2$ Stunde in Anspruch. Der Zeitaufwand sinkt mit der Höhe der verabfolgten Dosis; ebenso verkürzt die Anwendung eines Kristalls mit größerem Durchmesser (5" oder 8" Durchmesser anstelle des 3"-Kristalls) den zeitlichen Aufwand beträchtlich (46).

Ein Doppeldetektor ist in den Fällen zeitsparend, in denen Szintigramme verschiedener Ebenen wünschenswert erscheinen (63,64).

Die Szintigrammanfertigung wird über der Lungenbasis begonnen. Denn noch während der Szintigramm-gewinnung lagert sich strahlendes Material in die Leber. Die so registrierbare Aktivität genügt zwar keineswegs zur Anfertigung eines Leberscans, kann aber die Lungen-Lebergrenze verwischen.

4. Die Lage des Patienten

a) Der Einfluß der Lage auf die Durchblutung

Die Verteilung der MAA-Partikel im Blut steht in

direkter Beziehung zur Verteilung der roten Blutkörperchen (84). Somit spiegelt die Aktivität über dem Thorax nach der Verabreichung von ^{131}J -MAA (gleiches gilt von einer $^{133}\text{Xenon}$ -Injektion (13)) die Blutverteilung im Lungenparenchym wider. Diese ändert sich jedoch mit der Lage des Patienten: Wird das Material einem sitzenden Patienten injiziert, so ist die Aktivität über der Lungenspitze nur 28% derjenigen Aktivität, die ein im Liegen injizierter Patient bietet. ((84), ähnliches Ergebnis in (73)).

Die Lungenbasen zeigen eine Aktivitätsansammlung weder nach der Injektion im Stehen noch im Liegen. Sie ist jedoch dadurch zu erreichen, daß man den Patienten voll inspirieren läßt (84): die Inspiration vergrößert mit dem Lungenzog das Blutangebot und bewirkt damit eine Verschiebung des Blutvolumens in die Lungenbasis.

Die Blutverteilung bei pathologischen Verhältnissen ist entsprechend geändert: bei Mitralstenose ist die Durchblutung der oberen Lungenpartien gesteigert; bei der Herzlinksinsuffizienz ist das kaudo-kraniale Gefälle ebenfalls weitgehend aufgehoben. Ähnliche Ergebnisse liegen für das Emphysem und das Asthma bronchiale vor (15).

- b) Die Bedeutung der Lage hinsichtlich diagnostischer Problemstellungen

Die Lage des Patienten ist bedeutsam zur Erkennung von Füllungsdefekten: je größer der Abstand Läsion-Detektor, desto kleiner ist der Projektionsbezirk

der Läsion im Szintigramm (44).

Im allgemeinen wird, mit Rücksicht auf den Patienten, die Rückenlage bevorzugt. Möglicherweise hat allerdings bei Anfertigung nur eines Szintigramms die Bauchlage den größeren diagnostischen Wert (24). Surprenant (70, 71) weist auf die für Diagnostikzwecke günstigen Bedingungen des lateralen Scans hin: der frontale Durchmesser einer Lunge ist geringer als ihr AP-Durchmesser, kleinere Aktivitätsausfälle werden somit weniger leicht maskiert, und die seitliche Lungenprojektion zeigt fast die doppelte Größe der AP-Projektion.

In der großen Mehrheit der Fälle können jedoch auch relativ kleine Läsionen im Rücken- oder Bauchlagenscan erkannt werden (9).

VI. D a s n o r m a l e L u n g e n s z i n t i g r a m m

1. Beschreibung

Das in Rückenlage gewonnene Lungenszintigramm ist mit einer Thorax-Standardaufnahme zu vergleichen: das Herz mit den großen Basisgefäßen wird als aktivitätsfreie Zone von den beiden Lungenflügeln umgeben.

Die Projektion der Lungenfelder in Bauchlage ist größer als die in Rückenlage. Die beiden Lungenfelder werden hier von einer aktivitätsfreien Zone getrennt, die in etwa der Wirbelsäule entspricht.

2. Beurteilung

Ein völlig unauffälliges Szintigramm ist kein Beweis für eine intakte Lungendurchblutung. Eine gleichmäßige Aktivitätsverteilung ist trotz des Vorliegens multipler kleiner Metastasen, von Embolien und Infarkten möglich ((67); vgl. auch: "Lungenszintigramme ohne Ausfallsbezirke und Röntgenbefund" S.27). Der Grund für diese Beobachtungen ist in der mangelhaften Tiefenschärfe und im begrenzten Auflösungsvermögen des Szintigraphen zu suchen: Gewebsdefekte können erst ab einer Größe von 2-3 cm Durchmesser szintigraphisch erfaßt werden (33).

Geringe szintigraphische Abweichungen sind nicht unbedingt als Zeichen eines pathologischen Parenchymzustandes zu deuten; daß Zirkulationsveränderungen allein durch unterschiedliche Lagerung des Patienten verursacht werden, wurde oben bereits erwähnt. Schwierigkeiten kann die Beurteilung der Basis der linken Lunge bereiten: eine Herzvergrößerung kann Ursache einer reduzierten Aktivität in diesem Gebiet sein (67).

VII. D a s p a t h o l o g i s c h v e r ä n d e r t e L u n g e n s z i n t i g r a m m

1. Füllungsdefekt und Krankheitsbilder

Es sind bereits zahlreiche Krankheitsbilder beschrieben worden, die mit einem szintigraphischen Füllungsdefekt

einhergingen. Zu den wichtigsten gehören: Embolien, Tuberkulose, maligne Tumoren, Lungencysten, Emphysem, Bronchiektasen, akutes Asthma bronchiale. Das Szintigrammverhalten bei Pneumonien ist nicht eindeutig. So schließt ein Füllungsdefekt im Szintigramm einen inflammatorischen Prozeß nicht aus (67).

Zu einem hohen Prozentsatz weisen neben den Embolien vor allem die Bronchiektasen (in 10 von 12 Fällen (78)) und Bronchialcarcinome (in 85-100%, s.Tab.1) Ausfallerscheinungen auf. Bei den in der Tabelle 1 aufgeführten Fällen handelt es sich jedoch zum Teil um relativ fortgeschrittene Carcinome.

Autoren	Gesamtsumme der Bronchialcarcinome	Mit positivem Szintigramm-ausfall
D.Sieniewicz u.Mitarb. (67)	34	29
T.Verdon u. Mitarb. (78)	27	25
H.Hatch u. Mitarb. (30)	50	48
(H.Ernst u. Mitarb. (20)	25	22)
H.Ernst (Diskussionsbeitrag in (47)	> 90	100 %
G.Zita, K.Brennig (87)	-	100 %

Tab. 1: Bronchialcarcinom und Szintigrammausfall

2. Der differentialdiagnostische Beitrag

a) auf Grund der Ausfallsbeschaffenheit

Die Einteilung der Szintigramme auf Grund der Ausfallsgröße und -beschaffenheit und ihre Zuordnung zu bestimmten Krankheitsbildern ist nicht sehr ergiebig (57). Der Vergleich mit angiographischen Befunden läßt kein anderes Ergebnis erwarten: die Versorgungsstörung ganzer Lappen geht zwar häufig auf Bronchialcarcinome und Embolien zurück, doch sind Durchblutungsstörungen dieses Ausmaßes unter anderem auch beim Boeck'schen Sarkoid (16), bei Tuberkulose (16), bei Atelektasen und chronisch entzündlichen Prozessen (Clerg u. Mitarb. in(39)) möglich.

Analog zu angiographischen Möglichkeiten könnte das Lungenszintigramm zur Abgrenzung der malignen von den benignen Tumoren dienen, des weiteren zur Abgrenzung der Mediastinaltumoren von den Bronchialtumoren: bei umschriebenen Tumoren wären demzufolge - im Gegensatz zu den Bronchialcarcinomen - ebenso wie bei den Mediastinaltumoren (85) lediglich umschriebene Ausfallsbezirke auf Grund einer Parenchymverdrängung zu erwarten.

Die szintigraphische Abgrenzung von Pleural- und Lungentumoren ist möglich (29).

b) durch wiederholtes Scannen

Auf diese Weise ist die Unterscheidung eines embolisch bedingten Füllungsdefekts von einem Ausfall anderer Genese möglich: embolisch bedingte Ausfallsbezirke sind durch die rapide Wiederzunahme der Durchblutung unter dem Einfluß einer entsprechenden Therapie zu erkennen (56).

c) durch positiven Tumornachweis

Zu den zum positiven Tumornachweis geeigneten Stoffen gehören das ^{197}Hg (68) und das $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Pertechnetat (62). Genauere Ergebnisse sind noch abzuwarten.

d) durch Zusatzmethoden

Der Lungenscan kann zur Aufspürung subdiaphragmatischer Abszesse durch ein gleichzeitiges Leberszintigramm ergänzt werden (6,7).

Eine weitere Kombinationsmöglichkeit ist die szintigraphische Darstellung der Lungenbelüftung mit Hilfe eines Isotopenaerosols (angewandt u.a. von (17) und (55)). Die Kombination des Injektionsscans mit der Inhalation von Carboxymonoxid eignet sich zur Unterscheidung von Durchblutungs- und Diffusionsstörungen (54).

Zur Überprüfung der Bronchialversorgung wurde ^{131}I -MAA in die craniale Aorta thoracica injiziert (45).

VIII. Die Entstehung des Füllungsdefekts

1. Die Ursachen

Als Ursachen für das Vorliegen eines Füllungsdefekts kommen in Frage: thrombotisch oder embolisch bedingter Arterienverschluß, Arterienkompression durch raumfordernde Prozesse, Gefäßmißbildungen, Zerstörung von Blutgefäßen durch Entzündungen, intrapulmonale Kurzschlußverbindungen (shunts) oder Weiterstellung peripherer Gefäße, Belüftungs- und damit Durchblutungseinschränkung.

Die Entstehung des Füllungsdefekts beim Bronchialcarcinom wird - in Anbetracht der diagnostischen Schwierigkeiten dieses Blastoms (vgl. hierzu (40)) - im folgenden eingehender erörtert.

2. Der Füllungsdefekt beim Bronchialcarcinom

a) Pathologisch anatomische Vorbemerkung

Das Bronchialcarcinom hat drei verschiedene Ausbreitungsmöglichkeiten: kontinuierliches, lymphatisches, und intrakanalikuläres Wachstum ((38), S.1921). Jede dieser Möglichkeiten führt direkt oder indirekt zu einer Durchblutungsbeeinträchtigung im Lungenparenchym.

b) Das Füllungsdefizit auf Grund der direkten mechanischen Einwirkung

Primäre Bronchialcarcinome haben primär eine Versorgung aus dem Bronchialkreislauf (49), verdrängen

also durch ihr Wachstum das vom Pulmonalkreislauf versorgte Lungenparenchym. Die daraus resultierende Durchblutungsveränderung - angiographisch an mitunter besenreisartig zusammengeschobenen oder, bei vorwiegend expansivem Wachstum, auseinandergedrängten Arterien kenntlich (39,85) - kann jedoch nur für einen umschriebenen Ausfall verantwortlich sein.

Der bei Bronchialcarcinomen beobachtete szintigraphische Lappenausfall muß auf zusätzlichen Tumoreinwirkungen beruhen: so auf der Kompression eines oder mehrerer Gefäße, wobei Gefäßkompressionen zentraler Abschnitte meist auf regionäre Drüsenmetastasen zurückzuführen sind (39), oder auf einer direkten Tumorinvasion in die Arterien - ein Befund, der allerdings häufiger bei peripheren als hilusnahen Carcinomen auftritt (Pryce, in (1), S. 471).

c) Das Füllungsdefizit auf Grund der Belüftungseinschränkung

Eine Belüftungsstörung ist beim Bronchialcarcinom möglich durch die Kompression der Bronchien von außen, durch die lymphogene Tumorausbreitung mit folgender Lumeneinengung, durch intrakanalikuläres Tumorstadium, ebenso durch regionäre Drüsenmetastasen; letztere brechen fast regelmäßig in die Bronchien oder die Hauptbronchien ein ((38), S. 1935).

Der Belüftungsmangel führt bereits im akuten Zustand zur deutlichen Durchblutungseinschränkung: beim Einatmen von 100% N_2 - in der Wirkung einem vollständigen O_2 -Mangel gleichzusetzen (4) - vermindert sich der Blutstrom um 42%. Er vermindert sich mit dem Alter

der Atelektase immer mehr: nach einem Monat ist die Durchblutung weitgehend oder ganz verschwunden (4).

Diese Durchblutungsverminderung ist durch die Kontraktion der Venolen auf Grund der verminderten O_2 -Spannung des Bluts im atelektatischen Bezirk zu erklären (21).

d) Weitere Ursachen des Füllungsdefekts

Als weitere Ursachen eines Füllungsdefekts kommen AV-Anastomosen und reflektorische Weitstellungen der Gefäße in Frage. So fand Oeser (53) in Fällen, in denen angiographisch eine Kompression ausgeschlossen werden konnte, szintigraphische Füllungsdefekte bis zur Größe einer Lungenhälfte. Die markierten Partikel waren aber, wie Aktivitätsmessungen ergaben, in diese Bezirke eingeströmt, dort aber nicht festgehalten worden.

Nach neueren Untersuchungen (91) sind jedoch fast ausschließlich Drosselungsmechanismen für die Aktivitätsverminderung bei den meisten Lungenkrankheiten verantwortlich.

e) Füllungsdefekt und Frühdiagnose

Die direkte oder indirekte Einwirkung auf die Durchblutung und damit der szintigraphische Ausfallsbezirk wird umso größer sein, je zentraler der Tumor liegt. Somit ist seine Erkennungsmöglichkeit weniger vom szintigraphischen Auflösungsvermögen und der Tumorgröße als von seiner Lage abhängig: darin liegt die Möglichkeit der Szintigraphie im Hinblick auf die Frühdiagnose des Bronchialcarcinoms. Denn 70% dieser

Carcinome sind in Hilusnähe lokalisiert (v.Albertini in (38), S.1920), rund 25% in den beiden Hauptbronchen (Kahlau in (38), S.1916). Die Grenzen der szintigraphischen Frühdiagnostik liegen, greift der Tumor nicht primär die Gefäße an, in der Größe des zur Belüftungsstörung nötigen Tumolvolumens; und ein Bronchialcarcinom eines Durchmessers von 1 cm hat bereits $\frac{2}{3}$ seiner Wachstumszeit hinter sich (53).

Mit einer Frühdiagnose peripherer Lungentumoren ist nicht zu rechnen: denn eine szintigraphische Erkennungsmöglichkeit für Ausfälle, die kleiner sind als das Versorgungsgebiet einer Segmentarterie, ist fraglich (29).

IX. E i n M e t h o d e n v e r g l e i c h

1. Lungenszintigramm und Röntgenthoraxaufnahme

Das Szintigramm stimmt nicht immer mit den Röntgenbefunden überein. So sind kleinere Tumoren (z.B. periphere Metastasen) oft nur röntgenologisch sichtbar; umgekehrt zeigt sich szintigraphisch eine verminderte Gewebedurchblutung zum Teil erheblich früher (74), und Szintigrammausfälle sind teilweise erheblich größer als der entsprechende Röntgenbefund; dies gilt vor allem beim Vorliegen von Lungenembolien und Bronchialcarcinomen.

Bei der Diagnostik von Lungenembolien ist das Szintigramm der Röntgenmethode überlegen: bei 11 Patienten

mit Lungenembolien zeigte das Szintigramm in 79%, das Röntgenbild in 55% einen positiven Befund (14).

Bei der Aufspürung von Bronchialcarcinomen ist die Priorität der Szintigraphie keineswegs bewiesen: 34 röntgenologisch erfaßten Carcinomen standen im Untersuchungsgut von Sieniewicz nur 29 positive Szintigrammbefunde gegenüber ((67); vgl. hierzu: "Lungenszintigraphie und Bronchialcarcinom" S.31).

2. Lungenszintigramm und Angiographie

Der große Vorteil der Szintigraphie gegenüber der Angiographie liegt in seiner Gefahrlosigkeit und Reproduzierbarkeit. Die Übereinstimmung der szintigraphischen und angiographischen Ergebnisse ist gut; im Falle der Nicht-Übereinstimmung scheint das angiographische Ergebnis nicht unbedingt aussagekräftiger zu sein (37), wenn sich auch die genauere anatomische Lage eines Embolus leichter mit angiographischen Methoden bestimmen läßt (24).

3. Lungenszintigramm und Enzymteste

Der diagnostische Wert des Lungenszintigramms ist bei Lungenembolien und Lungeninfarkten wesentlich höher als der der entsprechenden Enzymteste (67).

4. Injektions- und Inhalationsszintigramm

Die Priorität bei diagnostischen Fragestellungen liegt im allgemeinen wohl bei dem gewöhnlichen

(Injektions-) Szintigramm (vgl. (17), (55), (72): denn mit der Belüftung ändert sich sofort die Durchblutung, nicht jedoch umgekehrt (72).

5. Radioisotopenscan und Differentialspirometrie

Diese beiden Methoden stimmen in ihren Ergebnissen ausgezeichnet überein (42,84). Der Vorteil der Szintigraphie liegt im Fehlen von Unannehmlichkeiten für den Patienten.

6. Lungenszintigramm und pathologisch-anatomischer Befund

Der szintigraphische Ausfall beim Bronchialcarcinom war nach Operationspräparaten (30) auf direkte Gefäßinvasion, Gefäßkompression auf Grund reaktiv-hyperplastischer Lymphknoten und thrombotisch bedingter Durchblutungseinschränkungen zurückzuführen; zum Teil war eine mechanische Einwirkung nicht nachweisbar. In den Fällen, in denen der szintigraphische Ausfall größer als der Röntgenbefund war, wurde der Szintigrammbefund bestätigt.

X. I n d i k a t i o n e n z u r S z i n t i -
g r a m m g e w i n n u n g

Der Wert des Szintigramms zur Diagnose und Differentialdiagnose von Durchblutungsstörungen wurde bereits erörtert. Zusätzliche Anwendungsmöglich-

keiten der Lungenszintigraphie liegen in der Einschätzung der Durchblutungsausfallgröße für Operationszwecke, in der Beobachtungsmöglichkeit der Entwicklung von Durchblutungsstörungen mit und ohne therapeutische Maßnahmen, außerdem in der Einschätzung von vaskulären und kardialen rechts-links-Shunts (zu letzterem: s.(73),(74)).

B. ZUM AUSSAGEWERT DES LUNGENSZINTIGRAMMS

Vorbemerkung

Es handelt sich um die retrospektive Studie über 325 von August 1966 bis Dezember 1969 angefertigte Lungenszintigramme. Als Szintigraph diente der Picker-Magna-Scanner. Seine Einstellung erfolgte entsprechend der Betriebsanleitung. Die Patienten befanden sich zur Szintigrammanfertigung in Rückenlage, als radioaktives Material wurde ^{131}J -MAA verwandt, die Dosis betrug meist $250\mu\text{C}$ (als Extremwerte: 180 u. $300\mu\text{C}$). Regelmäßig wurde ein Photoscan angefertigt. Zusätzlich dazu wurde in 98 Fällen ein Schwarzweiß-, im Rest der Fälle ein farbiges Papierszintigramm gewonnen. Das Farbszintigramm zeigte deutlich schärfere Kontraste als das Schwarzweißszintigramm; in verschiedenen Fällen zeigte der Photoscan die Ausfälle wiederum deutlicher als das Farbszintigramm.

Die Szintigramme wurden ohne Kenntnis der Röntgenbilder befundet, ihre Beurteilung wurde wie die der Röntgenbilder und der anderen Untersuchungsmethoden der routinemäßigen Befundung entnommen.

I. L u n g e n s z i n t i g r a m m u n d
 R ö n t g e n b e f u n d e

1. Lungenszintigramme ohne Ausfallsbezirke und
 Röntgenbefund

a) Befunde

Verglichen werden hier szintigraphisch völlig unauffällige Lungenflügel mit dem ap-Thoraxbild bzw. mit dem Durchleuchtungsbefund. Wie in den folgenden Untersuchungen wurde darauf geachtet, daß Szintigramm und Röntgenbilder innerhalb 3 Tagen angefertigt waren; lag diese Bedingung nicht vor, wurde das Szintigramm nur verwertet, wenn vor und nach seiner Gewinnung eine Thoraxaufnahme mit unverändertem Befund vorlag.

Bei 79 szintigraphisch unauffälligen Lungenflügeln ergab sich röntgenologisch in 23 Fällen kein pathologischer Befund. Die restlichen Fälle zeigten als Befund bzw. als Diagnose an

Veränderungen der Lungenbasen:	Winkelergüsse
	Pleuraschwarten
des Hilus	: Hilusstauung
des Parenchyms	: stark vermehrte Strahlendurchlässigkeit
	Kuppenschwielen
	Sonstige narbige Veränderungen
	Streifige Atelektasen
	Rundherd von Walnußgröße

Diese Befunde wurden wiederholt erhoben. Je einmal waren folgende Beobachtungen zu registrieren:

Faustgroßer Tumor (periph. Bronchialcarcinom)
Lunge übersät mit bis kirschgroßen Einlagerungen (M. Hodgkin)
Stark verminderte Strahlendurchlässigkeit
(retikuläres Sarkom)

b) Diskussion

Mit Ausnahme der 3 letztgenannten Befunde stimmten das Szintigramm und das Röntgenbild überein: das Szintigramm zeigte keine Bezirke gestörter Durchblutung und das Röntgenbild keine Veränderungen, auf Grund derer eine stärkere Durchblutungseinschränkung zu erwarten war.

In dem Fall des trotz seiner Größe szintigraphisch nicht faßbaren Tumors handelte es sich um ein Bronchialcarcinom, das in Höhe des rechten Hilus der Thoraxhinterwand aufsaß. Von einem ähnlichen Fall berichten Franke u. Mitarb. (90). Offensichtlich werden die dorsalen Lungenabschnitte bei der Szintigrammgewinnung in Rückenlage nicht erfaßt (vgl. S. 13: Die Bedeutung der Lage hinsichtlich diagnostischer Problemstellungen).

In den beiden anderen Fällen (M. Hodgkin, retik. Sarkom) war ebenfalls auf Grund des Röntgenbilds ein stärkerer Durchblutungsausfall zu erwarten. Die Frage muß hier offen bleiben, ob nun tatsächlich nur eine geringe Durchblutungsstörung vorlag oder aber ob eine funktionell bedeutsame Durchblutungsver-

minderung szintigraphisch nicht aufgedeckt wurde.

2. Lungenszintigramme mit Ausfällen und Röntgenbefund

a) Ausfall der Partikelfixation in einer Lungenhälfte

In 10 Fällen war szintigraphisch ein Lungenflügel nicht oder nur sehr rudimentär nachzuweisen; das entsprechende Röntgenbild zeigte in 7 Fällen eine streifige Verschattung bis homogene Trübung der gesamten Lungenhälfte, in einem Fall jedoch keinen und in 2 weiteren Fällen einen ausdehnungsmäßig wesentlich geringeren pathologischen Befund (Veränderungen lediglich im Bereich der Spitze oder des Oberfeldes). Die klinischen Diagnosen der szintigraphisch nicht darstellbaren Lungen lauteten:

Bronchialcarcinom (7 mal)
Cirrhatische Lungentuberkulose (1)
Massiver Erguß u. Pleuraschwarte (1)
Cyste im vorderen Mediastinum (1)

b) Szintigrammausfälle von Lappengröße

Von 21 Fällen waren 5 röntgenologisch ohne Befund, der Rest zeigte folgende Veränderungen bzw. Diagnosen:

Atelektasen (z.B. durch Bronchialcarcinome)
Cirrhatische Veränderungen
mehr oder weniger ausgedehnte Infiltrationsbezirke
Quergelagertes und dilatiertes Herz

c) Szintigraphische Segmentausfälle

Hier wurden die Röntgenbilder bei szintigraphischem Nachweis eines lateralen, keilförmigen Ausfallbezirks untersucht. Von 14 Fällen waren 5 röntgenologisch ohne pathologischen Befund. Der Rest zeigte durchwegs nur minimale Veränderungen: kleinste Pleuraergüsse

Infiltrationen

Plattenatelektasen

d) Ergebnis

In 13 von 45 Szintigrammen mit z.T. ausgedehnten Speicherungsdefekten zeigte sich röntgenologisch kein entsprechender Befund (Tab.2). Der eigenständige Beitrag des Szintigramms zur Lungendiagnostik ist also deutlich.

Szintigraph.Ausfall	Anzahl d. Fälle	kein entsprechender Röntgenbefund
Flügelausfall	10	3
Lappenausfall	21	5
Segmentausfall	14	5
Gesamt	45	13

Tab.2: Szintigraphische Ausfälle ohne Röntgenbefund

Wie zu erwarten, waren die verschiedensten path.-anatomischen Veränderungen die Ursache des szintigraphischen Fixationsausfalls. Aus einem Ausfall kann nicht auf eine bestimmte Diagnose geschlossen werden. Auffallend jedoch war beim hilusnahen Bronchialcarcinom in einem Großteil der Fälle die Diskrepanz des diskreten röntgenologischen Befunds mit dem massiven Speicherungsdefekt im Szintigramm, eine Beobachtung, die bereits häufig mitgeteilt wurde (u.a.(89), (90)).

In mindestens einem Fall führte ein quergelagertes und dilatiertes Herz zur Fehldiagnose eines szintigraphischen Ausfalls des linken Unterlappens. Vor einer Fehlinterpretation schützt in solchen Fällen das Röntgenbild.

In einem weiteren Fall des Untersuchungsgutes führte eine faustgroße Cyste des vorderen Mediastinums zum szintigraphischen Ausfall eines Lungenflügels. Bemerkenswert ist, daß es sich um einen benignen Tumor handelte; von malignen Mediastinaltumoren (wie Lymphome beim M. Hodgkin) mit szintigraphischen Ausfällen beachtlicher Größe wurde bereits von anderer Seite berichtet (89).

II. L u n g e n s z i n t i g r a p h i e u n d B r o n c h i a l c a r c i n o m

1. Ergebnisse verschiedener Untersuchungsmethoden bei gesichertem Bronchialcarcinom

Unter besonderer Berücksichtigung des Lungenszintigramms wird an Hand von 18 gesicherten Bronchialcarcinomen (davon 11 durch die Obduktion, der Rest durch Probeexcision) der Wert verschiedener klinischer Untersuchungsmethoden zur Diagnostik hilusnaher Bronchialcarcinome untersucht. In jedem der Fälle war ein Szintigramm und eine ap-Thorax-Aufnahme angefertigt worden, in einem Teil der Fälle Schichtaufnahmen und bronchoskopische Untersuchung; bronchographische Untersuchungen lagen nur in Ausnahmefällen vor.

Die Ergebnisse der Untersuchungsmethoden wurden in 2 Gruppen gegliedert (Tab.3): die erste Gruppe zeigt, wie oft die einzelnen Gruppen den Nachweis eines pathologischen Befunds erbrachten, die zweite Gruppe dagegen faßt die Befunde zusammen, in denen keine oder aber eine als nicht bronchialverdächtig eingestufte Veränderung gefunden wurde.

a) Nachweis eines pathologischen Befunds

Beim Nachweis eines pathologischen Befunds (Gruppe 1

Methode	Anzahl d. Fälle	Gruppe 1	Gruppe 2
Szintigraphie	18	17	1
ap-Thorax	18	17	1
Tomogramm	17	14	3
Bronchoskopie	12	7	3 (5)
Bronchographie	3	2	1

Gruppe 1: Nachweis eines path. Befunds

Gruppe 2: kein Verdacht auf ein Bronchialcarcinom

Tab.3: Befunde verschiedener Untersuchungsmethoden
beim Vorliegen eines Bronchialcarcinoms

der Tab.3) schneiden das Szintigramm und die ap-Thorax-Aufnahme am günstigsten ab: in 17 der 18 Fälle zeigten diese Methoden einen pathologischen Befund. Dieses Ergebnis stimmt, soweit das Szinti-

gramm betroffen ist, überein mit den von anderer Seite berichteten Beobachtungen (s. Tab. 1 S. 16; ähnliche Ergebnisse in (89): szintigraphische Ausfälle bei 19 von 22 hilusnahen Bronchialcarcinomen).

Die Größe des Szintigrammausfalls war in all diesen Fällen derart ausgeprägt, daß an einer pathologischen Veränderung kein Zweifel bestehen konnte; die Veränderungen der Thorax-Aufnahmen waren dagegen meist wesentlich diskreter.

In 2 Fällen bestätigten die Schichtaufnahmen den in der Übersichtsaufnahme gewonnenen Verdacht nicht, so daß von 17 Tomogrammen nur 14 einen, allerdings z.T. für ein Bronchialcarcinom ganz typischen, Befund lieferten.

Bei 12 Bronchoskopen konnte 7 mal ein pathologischer Befund erhoben werden, 4 mal davon wurde das Tumorgewebe selbst gesehen.

b) Der unberechtigte Tumorausschluß

In nur je einem der 18 Fälle zeigten das Szintigramm und die Übersichtsaufnahme keinen pathologischen Befund. Ein unberechtigter Tumorausschluß mit diesen Methoden war also selten. Das Tomogramm war in 3 Fällen hinsichtlich des Vorliegens eines Bronchialcarcinoms unverdächtig; die Bronchoskopie zeigte in 3 von 12 Fällen eine völlig normale Bronchialstruktur, in 2 Fällen konnten die entsprechenden Bronchien aus anatomisch-technischen Gründen nicht eingesehen werden.

c) Der Beitrag des Szintigramms zur Diagnose

In 13 der 18 Fälle stimmten die Ergebnisse aller angewandten Untersuchungsmethoden überein und sprachen für das Vorliegen eines pathologischen Befunds. Dabei konnte das Szintigramm in 6 Fällen mit einem fraglichen pathologischen Befund in der Thoraxübersichtsaufnahme diesen Befund erhärten.

In 5 Fällen führten die verschiedenen Untersuchungsmethoden zu unterschiedlichen Ergebnissen (Tab.4).

N.N.	Szintigr. Ausfall	ap-Thorax Aufnahme	Tomogr.	Broncho- skopie	Broncho- graphie	Diagnose gesichert durch
R.J. 64 m	li.Flügel	+	-	(nicht einseh- bar)	-	Obduktion
R.J. 66 m	li.Flügel	-	-	-		Obduktion
R.K. 66 w	re.OL re.ML	+	+	-		Obduktion
S.P. 55 m	re.OL re.ML	++	-	-		Intra- tracheale Lungen- punktion
L.J. 65 m	kein Aus- fall	+	++	++		Op-Präpa- rat

- : kein Anhalt für ein Ca

+ : Befund fraglicher Dignität

++: Befund hochverdächtig auf Br.Ca.

Tab.4: Fälle mit divergierenden Ergebnissen der Untersuchungsmethoden

In 3 dieser Fälle zeigten sowohl das Tomogramm als auch die Bronchoskopie bzw. -graphie keinen pathologischen Befund, das Szintigramm dagegen bot Ausfälle bis zur Größe eines Lungenflügels und lieferte somit in diesen Fällen einen entscheidenden Beitrag zur diagnostischen Klärung. ●

In einem Fall mit einem unauffälligen Szintigramm sprachen das Thoraxbild, das Tomogramm und die Bronchoskopie, z.T. eindeutig, für das Vorliegen eines malignen Tumors.

2. Zur Ursache des szintigraphischen Ausfalls beim Bronchialcarcinom

a) Path.-anatomischer Befund und Szintigrammausfall

In jedem der 11 obduzierten Fälle (und darüber hinaus in allen Fällen, in denen das Bronchialcarcinom einen szintigraphischen Ausfall verursachte) war der szintigraphische Ausfall mindestens von der Größe eines Lappens, auch dann, wenn das Carcinom keineswegs Lappengröße erreichte. In 3 Fällen waren zusätzlich zu dem Lappen, in dem das Carcinom saß, weitere Lungenabschnitte szintigraphisch stumm. In einem weiteren Fall bestand eine Diskrepanz in der Lokalisation der Befunde: das Carcinom saß im linken Unterlappen, der szintigraphische Ausfall betraf die linke obere Lungenhälfte.

b) Szintigrammausfall und Lungenbelüftung

Für 5 Fälle konnte retrospektiv eine Belüftungsstörung auf Grund der bronchoskopischen Befunde (bei gut ein-

sehbarem Bronchialsystem) oder eines speziellen Hinweises im Sektionsprotokoll ausgeschlossen werden. Szintigraphisch waren in diesen Fällen Ausfälle vorhanden.

In dem Fall, in dem das Szintigramm keinen Ausfall anzeigte, lag ein bronchoskopisch sichtbarer Verschuß des rechten Unterlappens vor.

c) Diskussion

Eine Verdrängung von Lungenparenchym als Hauptursache des szintigraphischen Ausfallbezirks kommt bei all den Fällen nicht in Frage, bei denen der Ausfall bedeutend größer oder anders lokalisiert war als der path.-anatomische Befund. Als Ursache bietet sich in diesen Fällen eine primäre Durchblutungsstörung auf Grund einer mechanischen Behinderung der arteriellen Blutstrombahn oder eine sekundäre auf Grund einer Belüftungsstörung (durch den Euler'schen alveolo-vaskulären Reflex (21)) an; die Annahme, der szintigraphische Ausfall sei mit einer Durchblutungseinschränkung zu erklären (womit av-Anastomosen als Ursache negligiert werden), ist berechtigt (91).

Von verschiedenen Seiten wird die Belüftungsstörung als Ursache des Füllungsdefekts hervorgehoben (89,91). In den hier gezeigten Fällen konnte allerdings in 5 Fällen mit szintigraphisch eindeutigen Ausfall jede gröbere Belüftungsstörung ausgeschlossen werden; umgekehrt wurde in einem Fall mit einem unauffälligen Szintigramm bronchoskopisch ein Bronchusverschuß gefunden.

In den Fällen ohne Belüftungseinschränkung ist die Annahme einer primären Durchblutungseinschränkung durch eine Gefäßkompression (wie häufig in Tabula nachgewiesen), eventuell auch durch einen Tumoreinbruch in das Gefäßlumen, berechtigt.

3. Szintigramm und Frühdiagnose des Bronchialcarcinoms

Nur 3 der obduzierten Fälle lebten nach der Anfertigung des Szintigramms noch länger als 6 Monate. In diesen Fällen lag neben dem szintigraphischen Anhalt auch ein pathologischer Befund in der ap-Aufnahme und im Tomogramm vor. So sind an Hand des Untersuchungsguts Aussagen hinsichtlich der Brauchbarkeit der Lungenszintigraphie zur Frühdiagnostik des Bronchialcarcinoms nicht möglich.

4. Lungenszintigramm und peripheres Bronchialcarcinom

Wie die Tabelle 5 zeigt, lieferte das Szintigramm in den 3 beobachteten Fällen keinen Beitrag zur Diagnose der hilusfernen Bronchialcarcinome.

N.N.	Szintigraph. Ausfall	ap-Thorax Aufnahme	Diagnose gesichert durch
M.J. 64 m	kein Ausfall	faustgroßer Tu.re dorsal	Lungen- punktion
S.X. 64 m	re.basal Ausfall ange- deutet	pflaumengr. Tu.re.UL	Lungen- punktion
B.O. 62 m	kein Ausfall	Verschattung li.paracordial	Lungen- punktion

Tab. 5: Lungenszintigramm bei peripherem Bronchialcarcinom

C. ZUSAMMENFASSUNG

Im ersten Teil der Arbeit wird an Hand der Literatur eine Übersicht gegeben über die Lungenszintigraphie: über das Injektionsmaterial, die Belastung des Organismus, die technischen Voraussetzungen und klinischen Überlegungen zum Anfertigen eines Lungenszintigramms und dessen Auswertung; die Ursache des szintigraphischen Ausfalls wird diskutiert unter besonderer Berücksichtigung des Ausfalls beim Bronchialcarcinom, des weiteren das szintigraphische Ergebnis im Vergleich mit den Befunden anderer Untersuchungsmethoden.

Im zweiten Teil der Arbeit werden retrospektiv aus 325 Lungenszintigrammen Szintigramme ohne Ausfälle und solche mit Ausfällen verschiedener Größe den entsprechenden Röntgenaufnahmen gegenübergestellt. Dem unauffälligen Szintigramm entsprach meist ein unauffälliges Röntgenbild oder ein Röntgenbild mit einer pathologischen Veränderung von nur geringer Ausdehnung; von Ausnahmen wird berichtet. Beim Vorliegen eines szintigraphischen Fixationsausfalls zeigte das Röntgenbild relativ häufig, nämlich in 13 von 45 Fällen, keinen entsprechenden pathologischen Befund.

Des weiteren wird der szintigraphische Beitrag zur Diagnostik des hilusnahen Bronchialcarcinoms an Hand von 18 histologisch gesicherten Fällen untersucht und mit den Ergebnissen anderer Untersuchungsmethoden (ap-Thoraxbild, Tomographie, Bronchoskopie) verglichen.

In 17 dieser Fälle zeigte das Lungenszintigramm einen deutlichen Anhalt für das Vorliegen eines pathologischen Befunds und lag damit an der Spitze der verglichenen Methoden. In 6 Fällen konnte der szintigraphische Ausfall einen fraglichen Befund der ap-Aufnahme erhärten; in 3 weiteren Fällen ohne tomographischen oder bronchoskopischen Carcinomverdacht lieferte das Szintigramm einen entscheidenden Beitrag zur Diagnose. Als Ursache des szintigraphischen Ausfalls konnte in 5 Carcinomfällen eine Belüftungseinschränkung ausgeschlossen werden. Aussagen hinsichtlich der Brauchbarkeit des Szintigramms zur Frühdiagnostik des Bronchialcarcinoms waren auf Grund des vorliegenden Materials nicht möglich. Zur Diagnose hilusferner Carcinome lieferte das Szintigramm in 3 beobachteten Fällen keinen Beitrag.

SCHRIFTTUM

- (1) v.Ackerman, L.,
del Regato, J.A.: Cancer; The C.V.Mosby Company,
Saint Louis, Third Edition, 1962
- (2) Altenbrunn, H.J.,
Stober, D.: Untersuchungen zur ¹³¹I-Markierung
von Stärkekörnern und ihre Anwend-
barkeit zur Darstellung der Lungen-
durchblutung. Fortschr.Röntgenstr.
98/757-761, 1963
- (3) Ariel, J.M.,
Lear, P.: The diagnosis of pulmonary embolism.
Radiology 82/876-878, 1964
- (4) Björk, V.O.,
Salén, E.F.: The blood flow through an
atelectatic lung. J.Thorac.
Surg. 20/933-942, 1950
- (5) Blanquet, P. et al.: La scintigraphie pulmonaire.
La Presse Méd., Paris 74/787-
790, 1966
- (6) Brown, D.W.: Combined lung-liver radioisotope
scan in the diagnosis of
subdiaphragmatic abscess.
Am.J.Surg.109/521-525, 1965
- (7) Brown, D.W.: Lung-liver radioisotope scans in
the diagnosis of subdiaphragmatic
abscess. J.Amer.Med.Ass.197/728-
730, 1966
- (8) Brubaker, D.E.,
Beasley, R.J.: Clinical advantages of the
scintillation camera. J.Nucl.
Med.8/361, 1967
- (9) Burdine, J.A.,
Jordan, W.M.: Comparison of the anterior and
posterior lung scan views in
relation to their individual
information content. J.Nucl.
Med.8/347, 1967

- (10) Conrad, B.
Horst, W.: Gegenwärtiger Stand und zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten der Szintigraphie. Strahlentherapie 131/200-217, 1966
- (11) Delaloye, B.: Color scintigraphie and its clinical interest. Helvet. Med. Acta 33/7-15, 1966
- (12) DeLand, F.H.: The fate of makroaggregated albumin used in lung scanning. J. Nucl. Med. 7/883-895, 1966
- (13) DeNardo, G.L. et al.: Comparison of the pulmonary distribution of Xenon-133 solution and jodine-131 macroaggregated albumin. J. Nucl. Med. 8/344, 1967
- (14) Doering, P.,
Lorenz, B.: Der Nachweis von Lungenembolien mit 131J-Albuminpartikeln. Dtsch. Med. Wschr. 92/239-244, 1967
- (15) Doerr, F. et al.: Zur Beurteilung der Lungendurchblutung mit Hilfe der Lungen-szintigraphie. Fortschr. Röntgenstr. 106/34-42, 1967
- (16) Dotter, C.T. et al.: Lung cancer operability. Amer. J. Roentgenol. 64/222-238, 1950
- (17) Dumon, J.F. et al.: La scintigraphie pulmonaire après aérosol d'isotopes. La Presse Méd., Paris 75/1293-1296, 1967
- (18) Erjavec, M. et al.: A colour system for contrast enhancement in scintillation. Radiobiol. Radiother. 7/507-513, 1966

- (19) Ernst, H. et al.: Tierexperimentelle Untersuchungen zur Frage der Therapie von Lungentumoren mit Hilfe radioaktiver Gold-Kohle-Suspensionen. Strahlentherapie 107/382-390, 1958
- (20) Ernst, H. et al.: Szintigraphische Untersuchungen bei Lungentumoren. Fortschr. Röntgenstr. 102/545-547, 1965
- (21) v.Euler, U.S.: Physiologie des Lungenkreislaufs. Verhandl.Deutsch.Gesellsch.Kreislaufforsch.17/8-16, 1951
- (22) Fishedick, O.: Die Lungenszintigraphie. Electrómedica 4/16-17, 1967
- (23) Freedman, G. et al.: Information content of data-blended and conventional photo-scans. Radiology 88/345-346, 1967
- (24) Freeman, L.M. et al.: Correlation of pulmonary scanning and angiographie in embolic disease of the lung. J.Nucl.Med. 8/344-345, 1967
- (25) Furth, E.C. et al.: The distribution, metabolic fate and radiation dosimetry of ¹³¹I labeled macroaggregated albumin. J.Nucl.Med.6/506,518, 1965
- (26) Gerthsen, G.: Physik.Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New-York, Neunte Auflage, 19
- (27) Gibel, W. et al.: Tierexperimentelle Untersuchungen zur Diagnostik von Gefäßverschlüssen der A.pulmonalis. Fortschr. Röntgenstr. 96/350-354, 1962

- (28) Gibel, W. et al.: Weitere Untersuchungen über die Anwendbarkeit einer ¹⁹⁸Au-Kohle-suspension zur Diagnostik pulmonaler Zirkulationsstörungen. Fortschr. Röntgenstr. 97/186-195, 1962
- (29) Gibel, W. et al.: Möglichkeiten der Diagnostik pulmonaler Zirkulationsstörungen sowie neoplastischer Erkrankungen mit einer Au¹⁹⁸-Kolloid-Kohle-suspension. Nucl.Med.4/415-422, 1965
- (30) Hatch, H.B. et al.: Radioisotope lung scanning in bronchogenic carcinoma. J.Thorac. Cardiovas.Surg.50/634-639, 1965
- (31) v.Hayek, H.: Über die funktionelle Anatomie der Lungengefäße. Verh.Dtsch.Ges. Kreisla.-Forsch.17/17-21, 1951
- (32) Haynie, T.P. et al.: Visualization of pulmonary artery occlusion by photoscanning. J.Amer.Med.Ass.185/306-308, 1963
- (33) Haynie, T.P. et al.: Visualization of pulmonary infarcts and tumors by photoscanning. J.Laborat.Clin.Med.60/881, 1962
- (34) Haynie, T.P. et al.: Diagnosis of pulmonary embolism and infarction by photoscanning. J.Nucl.Med.6/613-631, 1965
- (35) Henkin, R.J., Bishop, H.A.: Pulmonary clearance of radioactive iodinated serum albumin in man. J.Laborat.Clin.Med.60/709-713, 1962
- (36) Jio, M., Wagner, H.N.: Studies of the reticuloendothelial system (RES). J.Clin.Invest. 42/417-426, 1963

- (37) Kateb, E. et al.: Comparisons entre examens pulmonaires usuels et scintigraphies. Rev.tbc., Paris 30/1023-1032, 1966
- (38) Kaufmann, E.,
Staemmler, M.: Lehrbuch der speziellen pathologischen Anatomie. II/3, Walter de Gruyter u.Co., Berlin, 11.u.12. Auflage, 1960
- (39) Krall, J.: Die thorakale Angiographie beim Bronchialcarcinom. Thoraxchirurgie 3/121-138, 1955/56
- (40) Landes, G.
Zötl, E.: Sektionsstatistik einer medizinischen Abteilung. Münch.Med.Wschr. 108/1732-1735, 1966.
- (41) Loken, M.,
Westgate, H.: Evaluation of pulmonary function using Xenon 133 and the scintillation camera. Amer.J.Roentgenol. 100/835-843, 1967
- (42) Lopez-Majano, V.
et al.: Comparison of radioisotope scanning and differential oxygen uptake of the lungs. Radiology 83/697-698, 1964
- (43) Lopez-Majano, V.
et al.: Radioisotope scanning of the lungs in pulmonary tuberculosis. J.Amer.Med.Ass.194/1053-1058, 1965
- (44) Mallard, J.R.: Medical radioisotope visualization (A review of "scanning"). Intern. J.Appl.Radiation 17/205-249, 1966
- (45) Massumi, R. et al.: Retrograde lung scanning. J.Thorac. Cardiovas.Surgery 54/132-142, 1967
- (46) McAfee, J.G.,
Mozley, J.M.: Experiences in rectilinear scanning with large diameter NaJ (Tl) crystals. J.Nucl.Med.8/371, 1967

- (47) Meldolesi, U. et al.: Pulmonary regional blood-flow as evaluated by means of J131 tagged macroaggregated albumin (MAA-J131). Strahlentherapie 65/197-207, 1967
- (48) Miale, A.,
Landis, G.A.: Clinical use of the scintillation camera. J.Nucl.Med.8/371, 1967
- (49) Milne, E.: Circulation of primary and metastatic pulmonary neoplasms. Amer.J.Roentgenol.99/603-619, 1967
- (50) Mishkin, F.,
Wagner, H.: Regional abnormalities in pulmonary arterial blood flow during acute asthmatic attacks. Radiology 88/142-144, 1967
- (51) Muller, J.H.,
Rossier, P.H.: De l'emploi d'isotopes radioactifs artificiels, dans le but d'exercer un effet radiobiologique localisé. Experientia 3/75-76, 1947
- (52) Neuhof, H. et al.: Angiocardiographie in the differential diagnosis of pulmonary neoplasms. Surgery 25/178-183, 1949
- (53) Oeser, H.,
Ernst, H.: Die Lungenszintigraphie als Mittel zur Früherkennung des Lungenkrebses. Dtsch.Med.Wschr. 91/333-335, 1966
- (54) Oka, S. et al.: Pulmonary diffusing capacity and its evaluation by scintillation scanning of the lungs in lung cancer. Amer.Rev.Resp.Dis.95/239-243, 1967
- (55) Pircher, F.J.: Lung scanning in the detection of regional alterations of ventilation/perfusion ratios. J.Nucl.Med.8/343, 1967

- (56) Poe, N.D. et al.: Misinterpretation of lung scans in the diagnosis of pulmonary embolism. J.Nucl.Med.8/345, 1967
- (57) Powell, O.M.,
Riggall, E.R.: Lung scanning in chronic respiratory disease. J.Nucl. Med.8/397, 1967
- (58) Quinn, J.L. et al.: Early clinical applications of lung scintiscanning. Radiology 82/315-317, 1964
- (59) Quinn, J.L.,
Whitley, J.E.: Lung scintiscanning. Radiology 83/937-943, 1964
- (60) Ramirez, R.J.,
Buddemeyer, E.U.: Pulmonary clearance of radio-jodinated serum albumin J131. J.Amer.Med.Ass.193/595, 1965
- (61) Roucayrol, J.C.,
Nouel, J.P.: La scintigraphie pulmonaire. La Presse Méd., Paris 74/2405-2406, 1966
- (62) Sack, H. et al.: Erste Ergebnisse der Tumor- und Metastasendiagnostik mit radio-aktiven Isotopen. Dtsch.Med. Wschr. 92/93-98, 1967
- (63) Sasahara, A. et al.: Lung scanning with a high speed 5-inch dual detector system. J.Nucl.Med.8/346-347, 1967
- (64) Sasahara, A. et al.: Blended scintiscans of lungs with a dual detector system. Radiology 88/363-365, 1967
- (65) Sauerbrunn, B.J.
et al.: Scintiphotography and scinti-scanning: comparison in use. J.Nucl.Med.8/319, 1967

- (66) Scheer, K.E. et al.: Klinische Untersuchungen mit der Szintillationskamera und Tc99m. Radioaktive Isotope in Klinik und Forschung 7/103-115, 1967
- (67) Sieniewicz, D. et al.: Correlative assessment of the macroalbumin lung scan with the clinical and roentgenographic chest findings. Amer.J.Roentgenol. 100/822-834, 1967
- (68) Sodee, D.B.: Combination scanning procedures in the evaluation of bronchogenic carcinoma. J.Nucl.Med.8/25-34, 1967
- (69) Spode, E., Prösch, U.: Herstellung u. Eigenschaften radioaktiver Gold-Kohle-Suspensionen zur therapeutischen Anwendung. Strahlentherapie 123/113-117, 1964.
- (70) Surprenant, E.: Lateral lung scanning, anatomic and physiologic considerations. Amer. J.Roentgenol.99/533-542, 1967
- (71) Surprenant, E.L. et al.: The significance of shine-through on the side view lung scan. J.Nucl. Med.8/400,1967
- (72) Taplin, G.V., Poe, N.D.: A dual lung-scanning technic for evaluation of pulmonary function. Radiology 85/365-368, 1965
- (73) Tauxe, W.N. et al.: Quantitating the effect of gravity on lung scans of macroaggregates of albumin-J131. J.Appl.Physiol. 21/1381-1386, 1966
- (74) Tauxe, W.N. et al.: Clinical applications of lung scanning. Mayo Clin.Proc.42/473-487, 1967

- (75) Teschendorf, W.: Lehrbuch der röntgenologischen Differentialdiagnostik, Band 1. Georg Thieme Verlag Stuttgart, 4.Auflage, 1958
- (76) Thibault, G. et al.: Scintigraphies pulmonaires. Rev. tbc., Paris 30/612-622, 1966
- (77) Uchiyama, G. et al.: Clinical results with a color-recording rescanner. J.Nucl.Med. 8/437-443, 1967
- (78) Verdon, T.A. et al.: Diagnostic value of lung scans in a general hospital population. J.Nucl.Med. 8/402, 1967
- (79) Wagner, H.N. et al.: Studies of the reticuloendothelial system (RES). J.Clin.Invest. 42/427-434, 1963
- (80) Wagner, H.N. et al.: Regional pulmonary blood flow in man by radioisotope scanning. J.Amer.Med.Ass. 187/601-603, 1964
- (81) Wagner, H.N.: Diagnosis of massive pulmonary embolism in man by radioisotope scanning. New England J.Med. 271/377-384, 1964
- (82) Wagner, Jr., H.N. et al.: Regional vasomotor activity of the pulmonary vasculature. J.Clin. Invest. 44/1106-1107, 1965
- (83) Wagner, H.N., Tow, D.E.: Pulmonary blood-flow in lung-cancer. The Lancet I/1267, 1966
- (84) Wagner, Jr., Tow, D.: Radioisotope scanning in the study of pulmonary circulation. Progr. Cardiovasc.Dis. 9/382-399, 1967

- (85) Weiss, A.G. et al.: L'angiocardigraphie dans les affections chirurgicales du thorax. J.Radiol.Electrol.31/616-618, 1950
- (86) Whitley, J.E. et al.: The scintiscanning of experimentally produced pulmonary infarcts. Radiology 81/884-885, 1963
- (87) Zita, G.,
Brennig, K.: Die Farbszintigraphie der Lunge beim Bronchialcarcinom. Fortschr. Röntgenstr. 105/472-479, 1966
- Nachtrag:
- (88) Schinz, H.R. et al.: Lehrbuch der Röntgendiagnostik I/1. Georg Thieme Verlag Stuttgart, 5.Auflage, 1952
- (89) Deininger, H.K.: Lungenszintigraphie und Bronchialcarcinom. Med.Welt 17/1119-1124, 1968
- (90) Franke, W.G. et al.: Die Lungenszintigraphie - eine neue diagnostische Methode bei Lungenkrankungen. Med.Welt 35/1855-1861, 1968
- (91) Feine, U. et al.: Das Lungenperfusionsszintigramm. Med.Welt 1/9-13, 1969
- (92) Ollagnier, C. et al.: La Scintigraphie Pulmonaire. J.de radiologie et d'Electrologie 917-928, 1968

Herrn Professor Dr. G. Landes möchte
ich für die Überlassung des Themas,
für seine wertvollen Anregungen und
seine Kritik danken; meinen Dank auch
Herrn Dr. v. Stetten für seine
Verbesserungsvorschläge.

L e b e n s l a u f

Geboren am 20.9.1943 als Sohn des Oberstadtdirektors Albert Zech und seiner Frau Liselotte in Landshut. Dort Besuch der Volksschule von 1949 bis 1954; anschließend Besuch des hum. Hans-Carossa-Gymnasiums Landshut. 1963 Reifeprüfung. 1963 bis 1969 Studium der Medizin an der Universität München. Ärztliche Prüfung im Sommer 1969. Medizinalassistententätigkeit von September 1969 bis Ende Januar 1970 in der Pathologie bei Herrn Professor E. Langer (Krankenhaus München-Schwabing), seit Anfang Februar auf der med. Abteilung bei Herrn Professor G. Landes (Städt. Krankenhaus Landshut).

1 July

